PART3 HR 図

目標 HR 図とはどのような図で，その図をもとに恒星をどのように分類できるのかを説明できる。

Chapter1　HR図

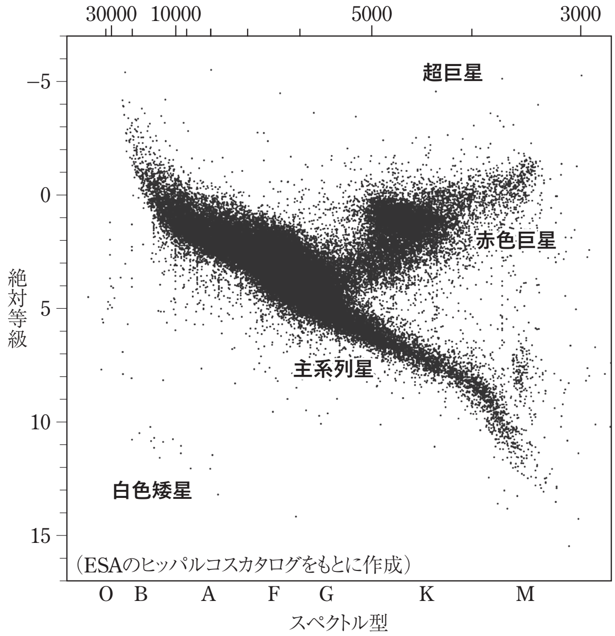
ここまでに，恒星の光度を表す絶対等級や，表面温度に対応するスペクトル型について学びました。ここでは，恒星の絶対等級とスペクトル型にはどのような関係があるかを学びましょう。

HR図と恒星の分類

・HR 図とは

横軸に（スペクトル型 / 絶対等級），縦軸に（絶対等級 / 見かけの等級）をとり，多くの恒星のデータを示した散布図を **HR 図**という。

HR 図の軸は，左から右に向かって表面温度が（高く / 低く），下から上に向かって光度が（大きく / 小さく）なるようにとる。



知っておこう

HR 図に相当する図は，1911 年にデンマークのヘルツシュプルング（Ejnar Hertzsprung），1913 年にアメリカのラッセル（Henry Norris Russell）によって独立に作成されました。HR 図という名称は，彼らの名前に由来しています。

知っておこう

本来の HR 図の軸は，左の本文に書かれているように定められています。しかし，暗い恒星のスペクトル型を調べることが難しいなどの理由により，近年の HR 図の多くは横軸に色指数と呼ばれる数値をとって描かれます。左の図はその一例であり，（図中には示していない）色指数を等間隔に取った結果として，スペクトル型が不規則な間隔で並んでいます。

なお，HR 図の縦軸についても，絶対等級の代わりに光度が用いられることがあります。

・**恒星の分類**

主系列星……HR 図の（左上から右下 ／ 右上から左下）にかけての帯状の領域に分布する恒星。高温で（赤っぽい ／ 青っぽい）恒星とくらべて低温で（赤っぽい ／ 青っぽい）恒星の方が光度は（大きい ／ 小さい）。

赤色巨星……HR 図の（右上 ／ 左下）に分布し，（高温 ／ 低温）で光度の（大きい ／ 小さい）恒星。

超巨星………HR 図の最上部に分布し，非常に光度の（大きい ／ 小さい）恒星。

白色矮星……HR 図の（右上 ／ 左下）に分布し，（高温 ／ 低温）で光度の（大きい ／ 小さい）恒星。

まとめ

・横軸にスペクトル型，縦軸に絶対等級をとり，多くの恒星のデータを示した散布図を＿＿＿＿という。
・多くの恒星はこの図の左上から右下にかけての帯状の領域に分布し，このような恒星を＿＿＿＿という。
・この帯状の領域の恒星の光度は，青っぽいものより赤っぽいものの方が＿＿＿＿。
・この図の右上に分布する恒星を＿＿＿＿といい，左下に分布する恒星を＿＿＿＿という。

Chapter2　演習問題

HR 図を用いると，恒星の性質を視覚的にわかりやすく整理できます。ここでは，HR 図を用いて恒星の大きさについて考えてみましょう。

問題(1)　恒星の光度について述べた次の文章中の空欄［　**ア**　］～［　**カ**　］に入る式または数値を答えましょう。ただし，シュテファン・ボルツマン定数を σ とします。

シュテファン・ボルツマンの法則により，表面温度が T の恒星の単位表面積から放射されるエネルギーは［　**ア**　］と表せる。半径 R の恒星の表面積は［　**イ**　］なので，その恒星の光度，すなわち恒星が単位時間に放射するエネルギーの総量を L とすると

$$L = [\ \textbf{ウ}\ ] \qquad \cdots\cdots\cdots ①$$

である。

同様に，太陽の光度を L_S，表面温度を T_S，半径を R_S とすると

$$L_S = [\ \textbf{エ}\ ] \qquad \cdots\cdots\cdots ②$$

であるから，①÷②を考えて

$$\frac{L}{L_S} = \left(\frac{T}{T_S}\right)^{[\ \text{オ}\ ]}\left(\frac{R}{R_S}\right)^{[\ \text{カ}\ ]} \qquad \cdots\cdots\cdots ③$$

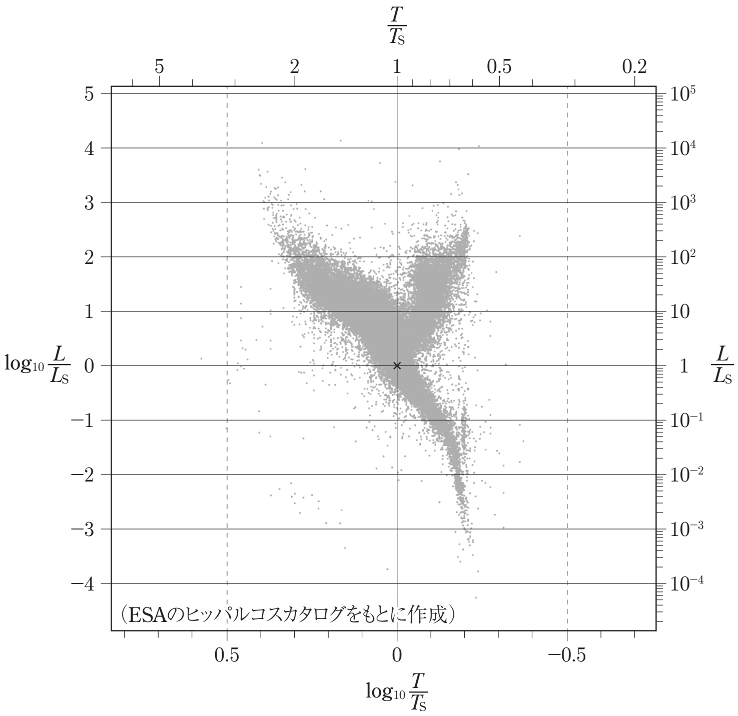
が成り立つことがわかる。

③式の両辺の常用対数を考えて，

$$\log_{10}\frac{L}{L_S} = [\ \text{オ}\ ]\ \log_{10}\frac{T}{T_S} + [\ \text{カ}\ ]\ \log_{10}\frac{R}{R_S} \qquad \cdots\cdots\cdots ④$$

が得られる。

問題⑵　次の図は，横軸に $\log_{10}\dfrac{T}{T_S}$，縦軸に $\log_{10}\dfrac{L}{L_S}$ をとったHR 図です。**問題⑴**の④式により，$R = 0.01R_S$, $0.1R_S$, R_S, $10R_S$, $100R_S$ の恒星の満たす関係をこの図中にそれぞれ実線で描きましょう。なお，参考のために図の上の横軸には $\dfrac{T}{T_S}$，右の縦軸には $\dfrac{L}{L_S}$ の値を示してあります。また，×は太陽のデータを表しています。



問題⑶　恒星の大きさについて述べた次の文章中の（　　　）について，正しいものを選びましょう。

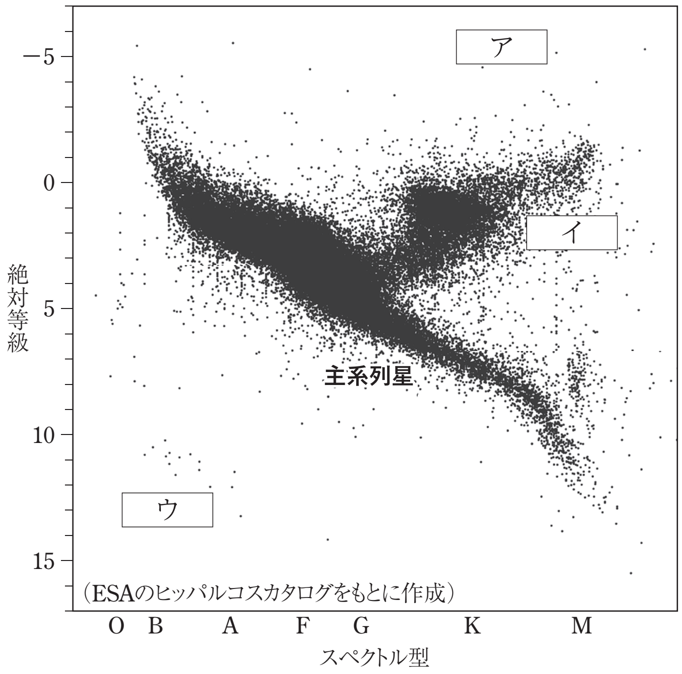
問題⑵の結果によると，表面温度の高い主系列星ほど半径は（大きい / 小さい）傾向がある。

また，表面温度が太陽の 0.6 倍程度の恒星には，半径が太陽の約 0.1 倍のものと約 10 倍を超えるものがある。小さい方は（O 型 / M 型）の主系列星であり，大きい方は赤色巨星と呼ばれる。

さらに，図中の白色矮星の半径は太陽の（0.01 倍 / 100 倍）程度であり，地球よりやや（大きい / 小さい）ことがわかる。

第 20 講 PART3 確認問題

問 1　図は，多数の恒星のスペクトル型と絶対等級の関係を示したものである。下の問いに答えよ。



(1)　このような図を何というか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　AB 図　②　HR 図　③　LS 図　④　XY 図

(2)　図のア～ウに入る天体名の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：白色矮星　イ：赤色巨星　ウ：超巨星

②　ア：白色矮星　イ：超巨星　ウ：赤色巨星

③　ア：超巨星　イ：白色矮星　ウ：赤色巨星

④　ア：超巨星　イ：赤色巨星　ウ：白色矮星

(3)　図の主系列星についての記述として最も適当なものを，
次の①～④のうちから一つ選べ。

①　左上にある恒星ほど，低温で暗い。

②　左上にある恒星ほど，低温で明るい。

③　左上にある恒星ほど，高温で暗い。

④　左上にある恒星ほど，高温で明るい。

第 20 講　恒星

PART1　天体の等級

問題(1)　ア：$\frac{1}{100}$　イ：n　ウ：$\frac{m}{5}$

問題(2)　エ：2　オ：$\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$

問題(3)　カ：10　キ：$\frac{m-M}{5}$　ク：$\left(\frac{10}{d}\right)^2$　ケ：5　コ：5

PART2　恒星のスペクトル型

問題(1)　絶対温度，反比例，ウィーンの変位則，高く，低い，大気，Hα線，水素原子，高い

問題(2)　フラウンホーファー線

問題(3)　G 型

PART3　HR 図

問題(1)　ア：σT^4　イ：$4\pi R^2$　ウ：$4\pi\sigma T^4 R^2$　エ：$4\pi\sigma T_S^4 R_S^2$　オ：4　カ：2

問題(2)　【※図参照】

問題(3)　大きい，M 型，0.01 倍，大きい

PART4　主系列星の質量と寿命

問題(1)　比例，反比例

ア：M　イ：L　ウ：M_S　エ：L_S　オ：$\frac{M}{M_S}$　カ：$\frac{L}{L_S}$

問題(2)　キ：4

問題(3)　100，10000，10，1000 万，10，3000 億

PART5　太陽質量の恒星の一生

問題(1)　ア：4　イ：2　ウ：2　エ：4　オ：3　カ：7

問題(2)　キ：−3　ク：10

PART6　さまざまな恒星の一生

問題(1)　ア：$\frac{1}{16}$　イ：10000　ウ：160000　エ：400
2
オ：$\frac{1}{100}$
地球と同程度

問題(2)　100万分の1，1.4，10^6

問題(3)　60000，1.4，5×10^{14}

PART7　星団

問題(1)　暗く，低い，大きく，短い，大きな，種族Ⅱ，星団X

問題(2)　散開星団，散光星雲，球状星団，星団Y，星団X

PART8　連星

問題(1)　15

問題(2)　第3法則，2.0
ア：3.2　イ：1.4　ウ：0.6

第 20 講　PART3　確認問題　解答

問 1

(1)　②

解説：
このような図を HR 図（ヘルツシュプルング･ラッセル図）という。

(2)　④

解説：
超巨星は HR 図の最上部に分布し，非常に明るい。赤色巨星は HR 図の右上に分布し，低温で明るい。白色矮星は HR 図の左下に分布し，高温で暗い。

(3)　④

解説：
主系列星は HR 図の左上から右下にかけて帯状に分布する。左上にある恒星はスペクトル型が O や B で，高温で明るい。